

# 北方生物圏生態科学

担当教員： 宗原弘幸 [hm@fsc.hokudai.ac.jp](mailto:hm@fsc.hokudai.ac.jp)

## 何を学ぶか？

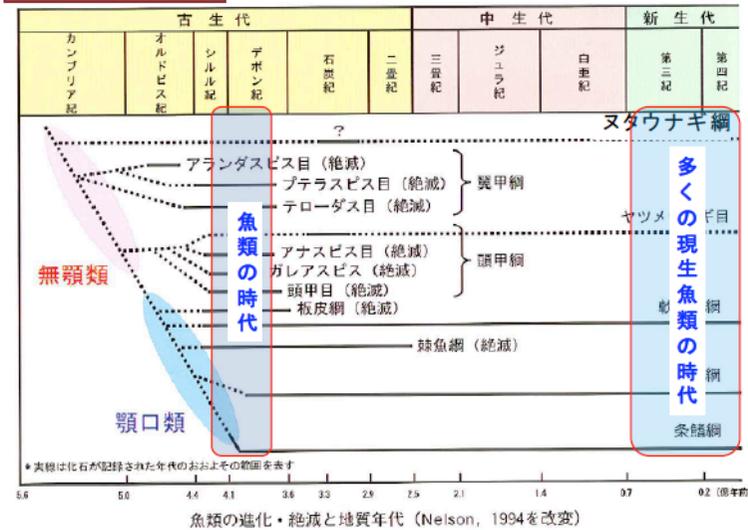
海洋生物の生態を学ぶ上で重要な知識や考え方と  
分析ツール（遺伝マーカー）を  
北方系生物の研究成果を通じて修得する

1. 生態研究の基礎は生物相  
生物地理、系統、生息環境、生物の生活史
2. 生態研究の強力ツール---様々な遺伝マーカー  
分子系統、遺伝様式、非メンデル遺伝
3. 生物の適応と進化---研究の考え方とツール  
ダーウィン時代の自然淘汰、適応戦略理論、  
ダーウィン以後の自然淘汰
4. 北の海で勝ち残った魚たちの業（わざ）を知る  
カジカ類の種・生態の多様性、アイナメ類のゲノム進化

# 魚類の時代

## 環北太平洋要素種群

### 現生魚類の時代



### 日本の魚類(約4500種) 北海道の魚類(約800種)

順位	科名	種数	順位	科名	種数
1.	ハゼ科	461 (330)	1.	カジカ科	60
2.	ベラ科	146 (140)	2.	ゲンゲ科	42
3.	ハタ科	134 (131)	3.	タウエガジ科	41
4.	スズメダイ科	106 (98)	4.	カレイ科	32
5.	テンジクダイ科	96 (95)	5.	クサウオ科	31
6.	カジカ科	88 (79)	6.	メバル科	27
7.	ハダカイワシ科	87 (86)	7.	ハゼ科	25
8.	イソギンポ科	78 (76)	8.	ガンギエイ科	22
9.	ソコダラ科	68 (68)	9.	トクビレ科	21
10.	メバル科	67 (95)	10.	サケ科	13
11.	ゲンゲ科	64 (68)			

表 日本および北海道に分布が確認された魚種をそれぞれ科ごとに種数を比較したランキング。科名の色は、その科の多くの種が生息する環境を示す。  
 『魚類検索』および『北海道の魚類全種図鑑』参照

赤字 温熱帯  
 青字 寒帯  
 橙字 寒帯～熱帯  
 黒字 深海



主な環北太平洋要素種群の種数と分布域。クサウオ科は両極海にもマリアナ海溝最深部にも分布する。地球で最も広く深く海を征服した魚類。

# 北日本における魚類相と変動要因

## 魚類相調査で学ぶ

- ・種の分布(生態)情報
- ・環境の特徴
- ・系統地理学的情報

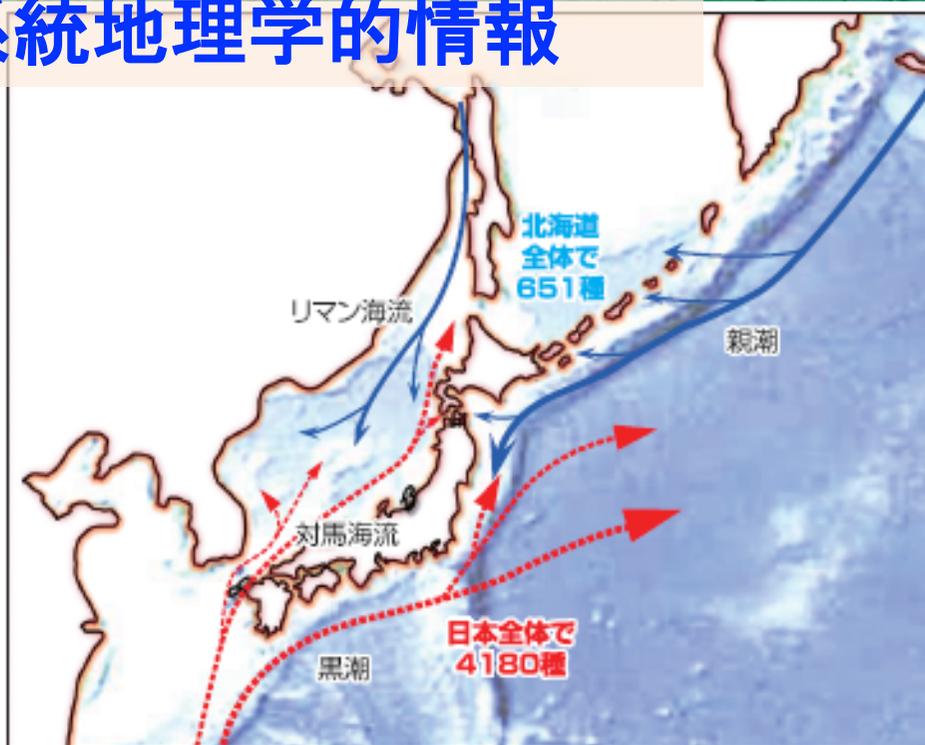


図1.1 日本周辺の海流と魚種数。日本のなかで、寒流が流れる北海道の海は特別な存在である。日本海を流れる対馬海流は、日本沿岸を通過して津軽海峡と宗谷海峡へ抜ける。日本海北部のロシア沿海州沿岸は、リマン海流が流れるため寒流の影響を強く受ける。海の色は深度に沿って濃く表されている。

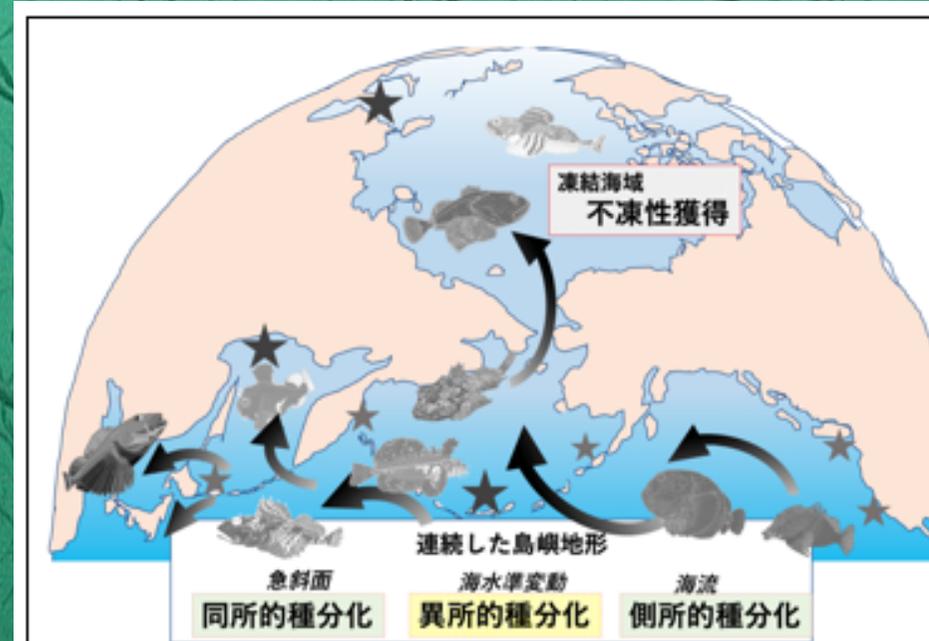


図1. 環北太平洋要素種群の種分化と分子適応。北太平洋沿岸は、地球の首飾りと喩えられる島嶼が連なる地形で、そこを寒流が反時計回りに流れる。ここには、海水準変動などによる生息地の分断や縁海への海峡の開通、さらに緯度や深度による環境勾配など、地史と地形の特性に起因する様々な種分化機構が備わっている。

キタイカナゴ *Ammodytes hexapterus*

# 生物地理学的解析 -分布の段階法則-

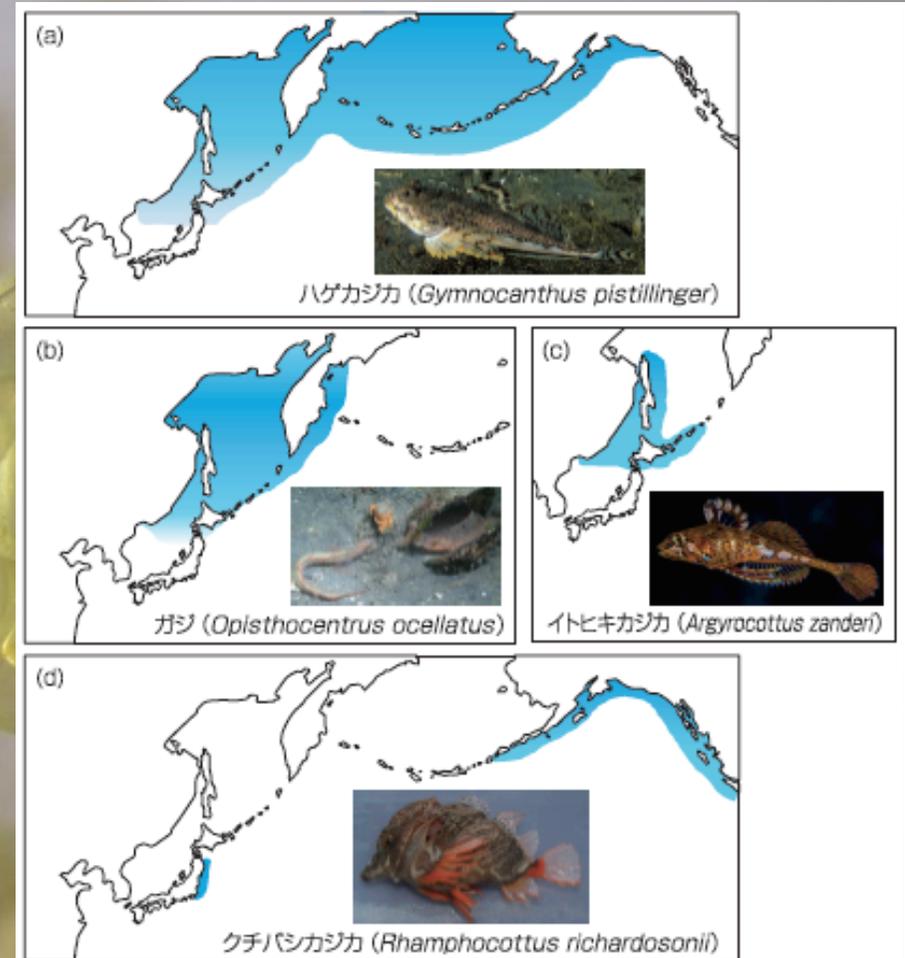


図1.7 北海道に分布する磯魚の主な分布様式(生物地理要素)。生物地理学では、分布パターンを類型化して系統の起源と形成史を分析する。その際に分布パターンを「生物地理要素」と呼ぶ。(a)「環北半球寒帯要素」：北極海を通して北大西洋と北太平洋に分布する。ツマグロカジカ属ハゲカジカを例に分布域を示す(本属の系統地理については第5章で詳述する)。(b)「北太平洋要素」：日本海北部、北日本太平洋沿岸、オホーツク海、ベーリング海、北太平洋沿岸に分布する。北海道ランキング第3位のタウエガジ科ガジの分布を例示する。(c)「東アジア固有要素」：オホーツク海、日本海、日本列島太平洋沿岸、東シナ海などに分布する。イトヒカジカの分布を例示する。(d)「日本-オレゴン要素」：クチバシカジカの分布を例示する(第4章参照)。ウナライカジカ科やゲンゲ科、クサウオ科には、北極海と南極海および両極をつなぐ深海の冷水域に分布する「環冷水要素」の種もいる。また日本の温帯性魚類のほとんどが含まれる「インド-西太平洋要素」もわずかに北海道で見られるが、冬季には本州に回遊するか死滅する種である(第7章参照)。(地理要素の名称は、中坊(2013)より) ((a), (c) 撮影：佐藤長明)

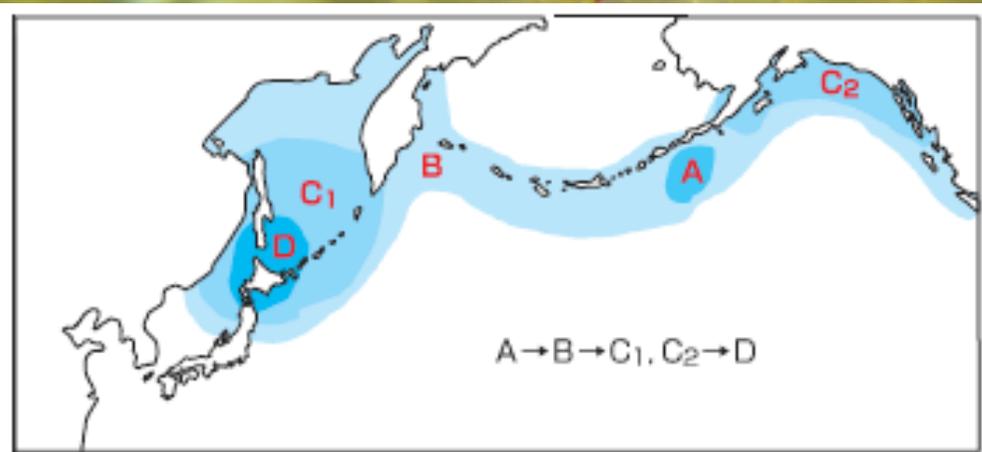


図1.5 分布の段階法則。網掛けした部分が仮想的な分布域を示す。例として、アラスカ半島の南岸部で起源した種を想定した(A：初期固有期)。種分化が進み、分布が連続的に拡がる(B：連続広分布期)。やがて環境変化あるいは競争などにより衰退し、分布域が分断される(C：不連続分布期)。衰退が続き、限られた分布域に遺存固有種だけが残る(D：遺存固有期)。(西村, 1974を基に作成)

ヤリガジ *Ernogrammus zhirmunskii*

# アイナメ属の進化 -分子系統と種分化-

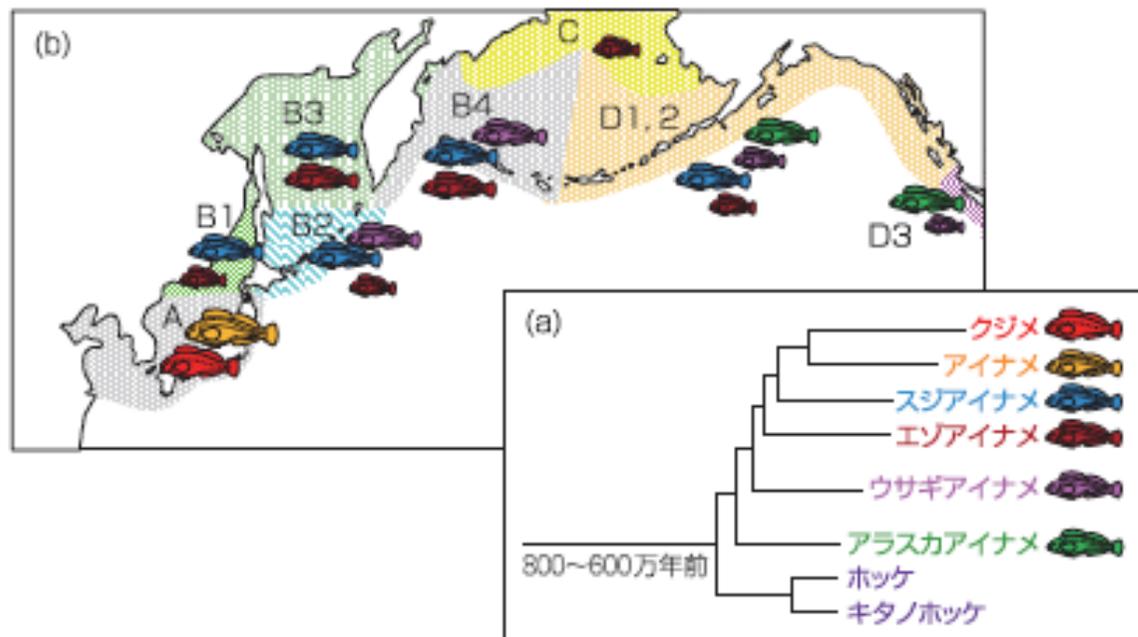


図6.1 アイナメ属6種の系統関係と分布域。(a) ミトコンドリアと核ゲノム合計2013塩基配列を調べて、最尤法 (MP), 近接結合法 (NJ) およびベイズ推定 (Bay) の結果を統合した分子系統図 (Crow et al., 2004より)。(b) アイナメ属6種の分布図。区分けと各種の分布は、Shinohara (1994) から引用。地図上の魚のサイズは、各種の区分毎の相対的豊度を示す。

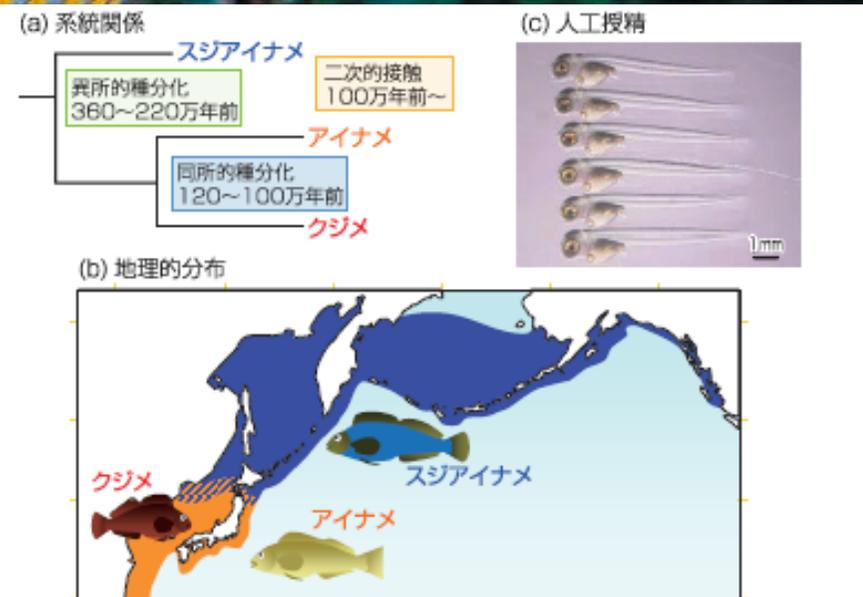


図6.4 アイナメとクジメの同所的種分化を実証した研究の概略図。(a) 系統関係や分布から推定される3種の地史イベント。(b) クジメとアイナメは同所的分布, スジアイナメは他の2種より北で、北海道で3種が分布しスジアイナメが関係する雑種が出現。(c) クジメとアイナメの雑種は人工授精で普通に発育。しかし野外では見られないので、種の認知機構が確立している。

# カジカ類の生態進化 -交尾と卵保護-

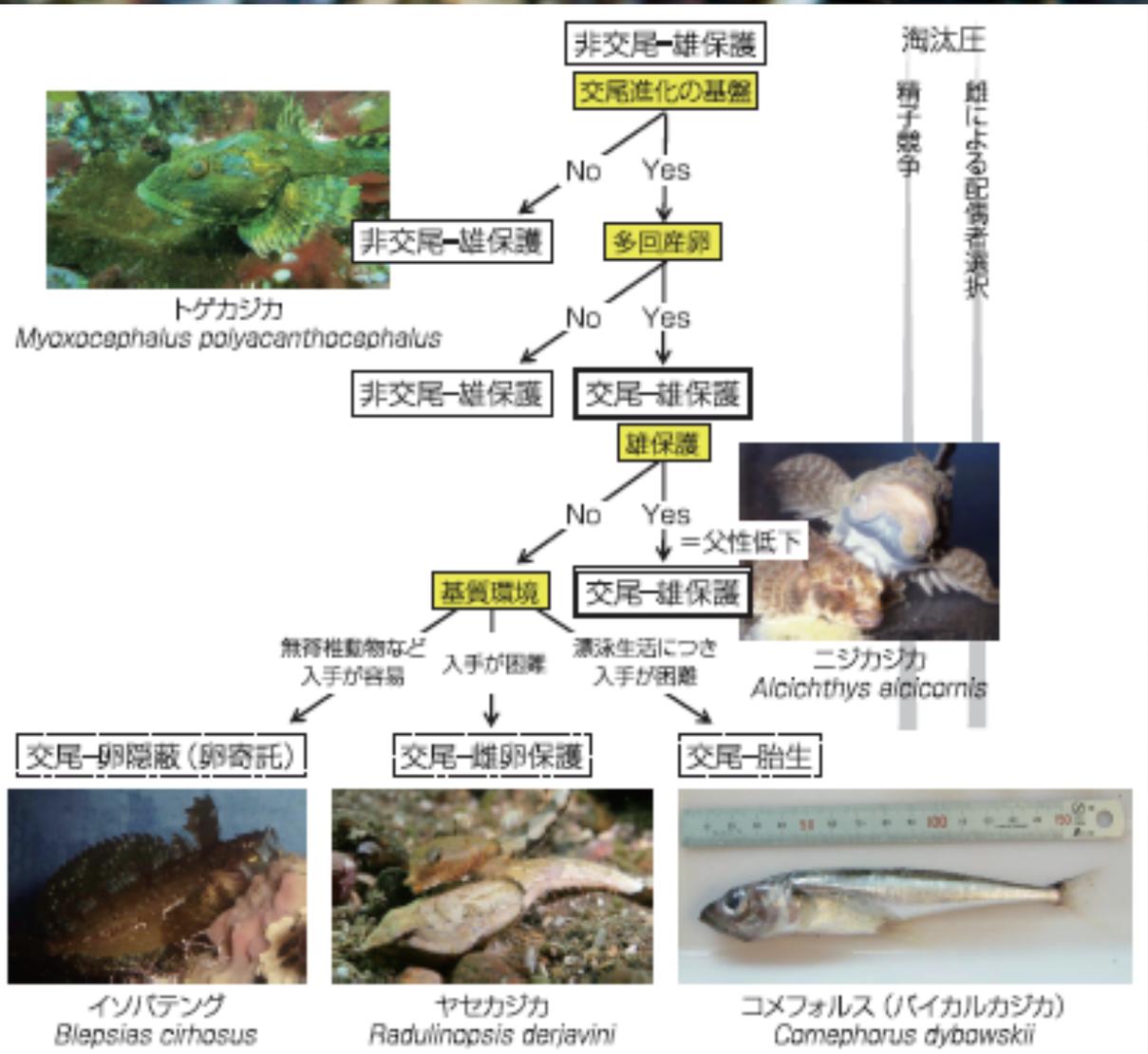
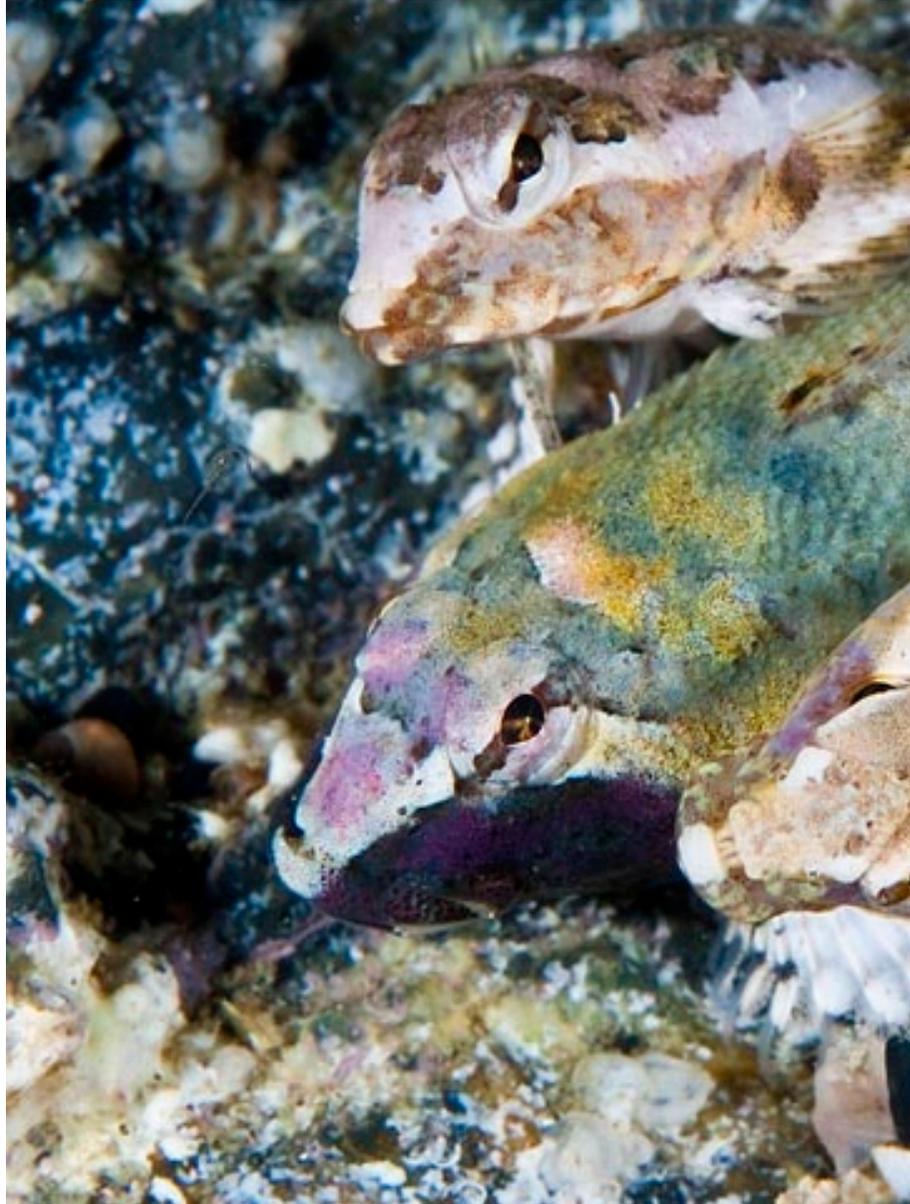
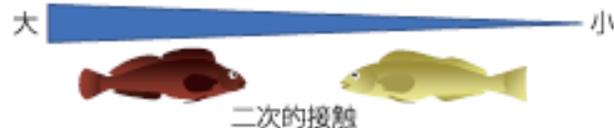


図 3.3 カジカ類の繁殖様式の進化モデル。非交尾-雄保護が祖先型で、交尾に適応できる生殖生理学的な基盤を持っていた。交尾は多回産卵種でのみ進化する。交尾-雄保護の集団では、雄と保護する卵の父性が不確かになるため、雄は卵の保護をやめる。雌が保護雄に代わる卵の保護方法を獲得できたとき、次の段階の繁殖様式に進化する。交尾-卵隠蔽(卵寄託)、交尾-雄見張り保護、胎生のいずれになるかは、基質環境で決まる。カジカ類の繁殖様式の進化過程には、雄間の精子競争と雌による配偶者選択が強く関わっている。(『カジカ類の多様性』(東海大学出版会, 2011)の図を基に作成)

# 交雑の生態学

## -二次的遭遇とクローン-

- 遺伝的な距離…地理的隔離の時間に相関
- 表現的な相違(形態や行動)…経験した淘汰圧の違い



### 交雑しない

- =種の認知が確立されていた
- ①どちらかが生残し, 一方は絶滅
- ②共存

### 交雑する

- =種の認知が確立されていない
- ①どちらかが生残し, 一方は絶滅 (絶滅種の遺伝子の一部は取り込まれて残る)
- ②共存
- ③1つの種に融合
- ④雑種が特殊な遺伝様式で生存
  - a. 両親種と共存
  - b. 一方の親種が絶滅

図6.3 二次的接触後に起こりうる種間関係の模式図。地理的隔離の時間やそれぞれの集団が受けてきた淘汰圧により種間の形質差は異なる。二次的接触後、種間差が大きい場合は、交雑せずに共存か一方の絶滅となる。種間差が小さい場合は、交雑する。その結果、絶滅、種の認知を確立し共存、あるいは1つの種になる。また、雑種が特殊な遺伝様式で生存する場合もある(本章で後述する半クローンなど)。

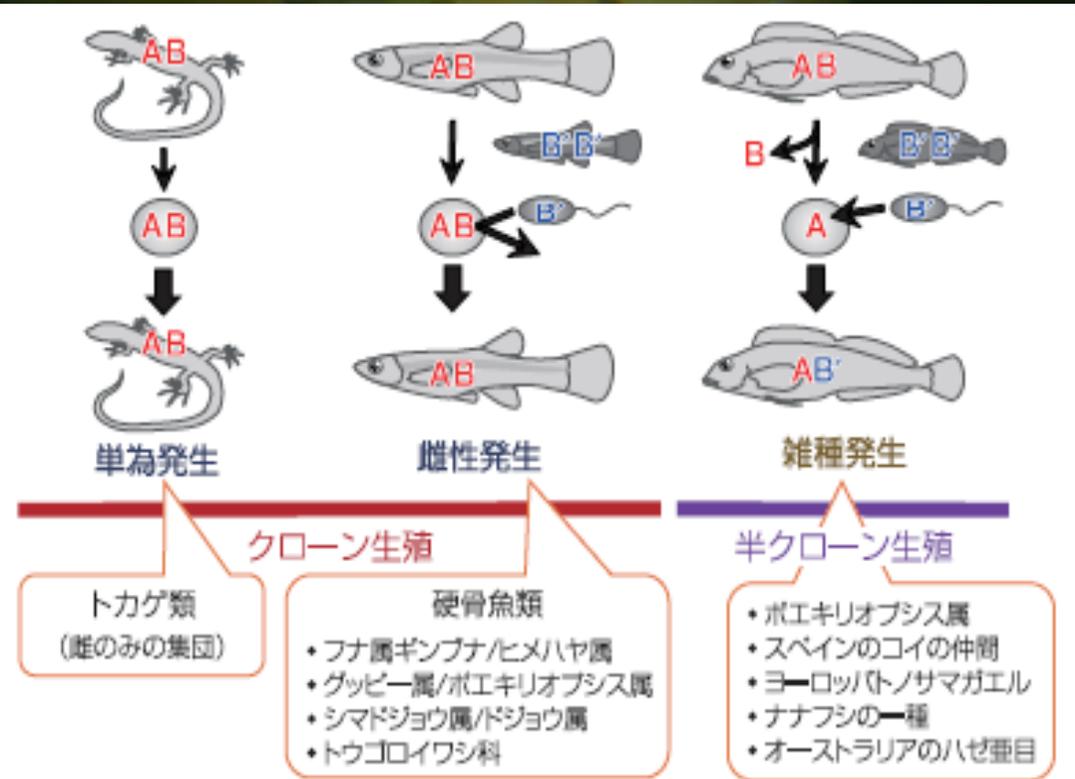


図6.9 交雑起源の特殊な発生様式とそれを行う生物種族(プレスリリース [https://www.hokudai.ac.jp/news/160929\\_fsc\\_pr.pdf](https://www.hokudai.ac.jp/news/160929_fsc_pr.pdf)より)。クローン生殖には、体細胞と同じゲノム組成の卵が精子の刺激なく発生を開始する単為発生と、精子の刺激を必要とする雌性発生(この様式では精子ゲノムは発生初期の卵のなかで消される)がある。半クローンによる雑種発生では、卵になる前の生殖細胞のなかで雄親ゲノムが消される。(作図:木村幹子)

# 極域への進出

## -不凍タンパク質遺伝子-

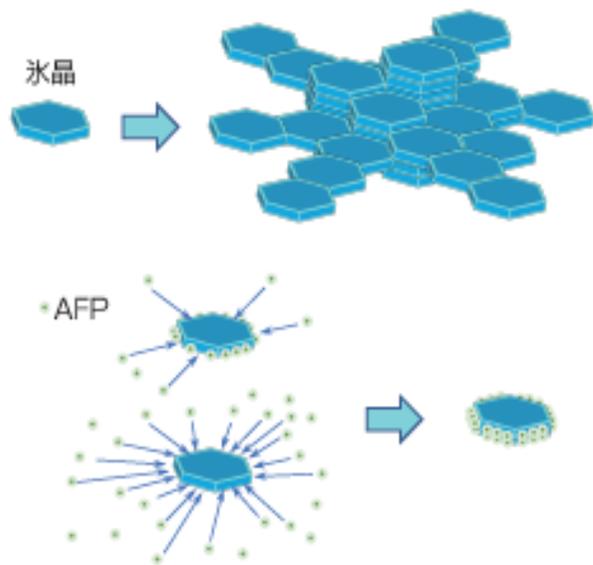


図4.10 不凍タンパク質 (AFP) が氷晶の成長を抑制する効果の模式図。六角柱の氷晶の側面にAFPが結合し、氷晶の発達を妨げることで凝固点を下げる。AFPを大量に合成するほうが氷晶の成長を抑制する効果が高い。

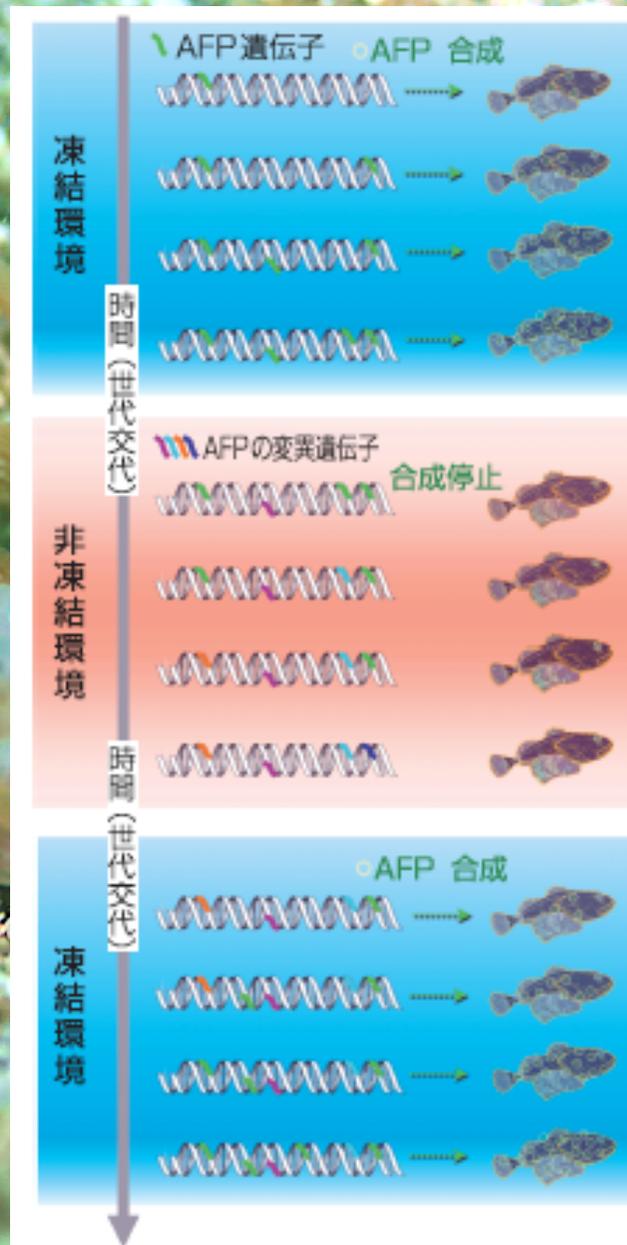


図4.11 不凍タンパク質 (AFP) 遺伝子の生息環境に適応した重複と変異の模式図。体液が凍結する寒冷環境では、AFPを大量に合成できるほど有利なので、AFP遺伝子の重複が自然淘汰される。マイルドな環境ではAFPは不要なので、合成を止め変異が蓄積する。再び凍結環境になるとAFPの合成が再開され、重複も進みAFP遺伝子ファミリーが増す。

# 温帯性魚類の漂着

-DNAバーコーディング-

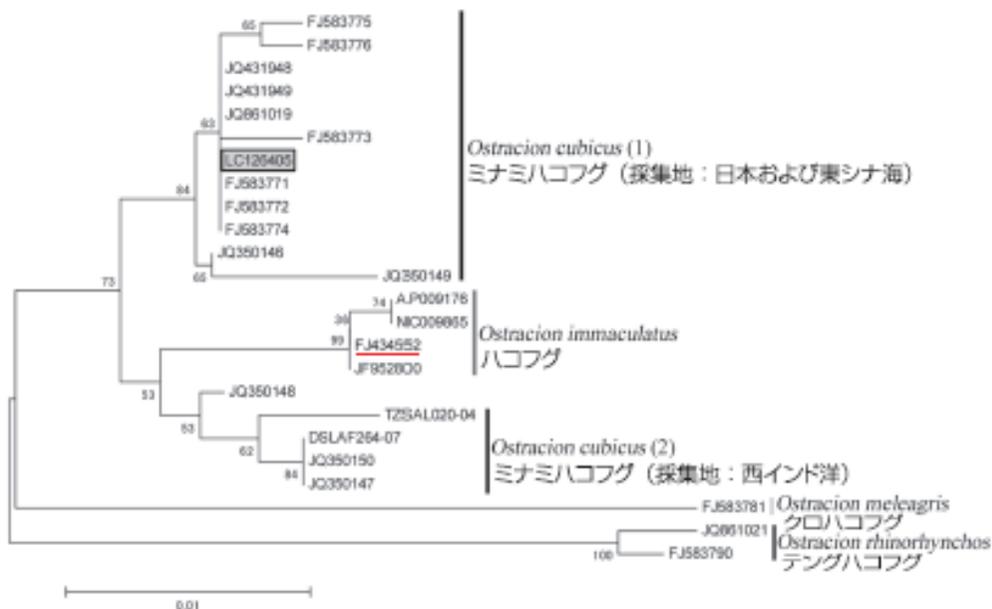


図 7.5 白尻で得られた標本 (LC126405) をミナミハコフグと同一とした系統樹 (標本番号はジーンバンク登録番号, バーは遺伝的距離=塩基の置換箇所数/分析した塩基数)。ハコフグのクラスターに、データバンクではミナミハコフグと査定されていた配列が1つある (FJ434552)。誤査定の可能性がある。(百田・宗原, 2017bより)

図 7.4 2014年より2年間、ハンドネットによる標本採集を行い、白尻で初記録となった9魚種。このうち、オクヨウジ、ホンペラ、ハオコゼ、キリンアナハゼ、ミナミハコフグ、イソスズメダイの6種が日本の太平洋側における北限記録で、ソラスズメダイ、スズメダイ、キュウセンの3種は北海道の日本海側で分布記録があった。これで白尻の魚類相は28目117科344種となった。(百田・宗原, 2017bより)

# 教科書

〈北水ブックス〉 第4弾 2020年4月発行

## 北海道の磯魚たちの グレートジャーニー

宗原弘幸（北海道大学白尻水産実験所教授）著  
佐藤長明（水中カメラマン）写真協力

A5判・128ページ

オールカラー

定価（本体1,800円＋税）

ISBN978-4-303-80004-8

目次など詳しい情報はウェブで



北海道の磯魚たちは、いつ、どこからやってきたのか。さまざまな試練をどのようにして乗り越えて、生き残ってきたのか。その謎を解明するために北太平洋各地の海を潜った調査の様子と、魚たちの興味深い生態を紹介する。

海文堂出版

112-0005 文京区水道 2-5-4

TEL 03-3815-3292

<http://www.kaibundo.jp>



北水ブックス

## 北海道の磯魚たちの グレートジャーニー

宗原 弘幸 著／写真協力 佐藤 長明

KAIBUNDO